

Министерство образования и науки Российской Федерации

**Санкт-Петербургский филиал  
Научно-исследовательского центра  
«МашиноСтроение»**



Уральский федеральный университет  
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

Кыргызско-Российский Славянский университет

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С.М. Кирова

Российский государственный аграрный университет – МСХА  
им. К.А. Тимирязева

ISSN 2587-7577

# **МАШИНЫ, АГРЕГАТЫ И ПРОЦЕССЫ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СОЗДАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ:**

**Материалы международной  
научно-практической конференции**

**№1**

Санкт-Петербург, 2018

УДК 62-1 : 001.8

ББК 30.9

М38

**М38            Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация:** Материалы международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: СПбФ НИЦ МС, 2018. – №1. – 237 с.

Представлены материалы I международной научно-практической конференции «Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация». Направления работы конференции: 1) Машиностроение и металлообработка; 2) Горные машины и оборудование для добычи полезных ископаемых; 3) Металлургическое производство; 4) Химическая промышленность и нефтегазовая отрасль; 5) Строительство и ЖКХ; 6) Сельскохозяйственное машиностроение и агропромышленный комплекс; 7) Легкая промышленность; 8) Пищевая промышленность.

Материалы могут быть полезными для научных и инженерно-технических работников, докторантов, аспирантов и студентов, занятых исследованием машин и процессов, различного технологического назначения.

Учредитель: *Жукова Елена Валерьевна.*

Главный редактор:

*Жуков Иван Алексеевич* – директор НИЦ «МашиноСтроение», заместитель заведующего кафедрой механики и машиностроения СибГИУ, д.т.н., доцент.

Редакционная коллегия:

*Кугаевский Сергей Семенович* – заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» УрФУ, к.т.н., доцент.

*Логинев Геннадий Иванович* – профессор кафедры гидротехнического строительства и водных ресурсов КРСУ, д.т.н., доцент;

*Шифрин Борис Маркович* – доцент кафедры управления, автоматизации и системного анализа СПбГЛТУ, к.т.н., доцент;

*Юсупов Рамазан Хабибрахманович* – профессор кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов РГАУ-МСХА, д.т.н., профессор.

Полные тексты статей доступны на сайте <http://elibrary.ru>.

ISSN 2587-7577

© Авторы, 2018

© СПбФ НИЦ МС, 2018

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ НА БАЗЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

*Шифрин Б.М.*

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** шлифование; классификация факторов процесса шлифования; нечеткая логика; скорость резания; угол скоса.

**Аннотация.** Предложен подход к разработке модели процесса шлифования на основе нечеткой логики. Целесообразность применения методов нечеткой логики при шлифовании обусловлена большим количеством влияющих разнородных факторов, а также богатым опытом экспертов – технологов в данной отрасли.

Шлифование – один из видов обработки резанием, при котором припуск на обработку снимается абразивными инструментами. Шлифованием можно получить высокую точность размеров и формы, а также необходимую шероховатость поверхности.

Процесс шлифования остается сложным и малоизученным с точки зрения физических процессов, происходящих в поверхностных слоях обрабатываемой поверхности, так как при этом применяются разнообразные абразивные инструменты и соответствующее оборудование. Следовательно, результат обработки зависит от многочисленных факторов, значения которых меняются в достаточно больших пределах. Отсутствие сведений о динамике изменения параметров технологического процесса шлифования и их влияния на параметры качества обработанной поверхности в значительной степени сдерживает дальнейшее развитие высокоэффективных технологий шлифования [1].

Анализ возможностей совершенствования технологии шлифования для обеспечения требуемого качества обрабатываемой поверхности и максимальной производительности при обработке может быть реализован на основе экспериментально-теоретического анализа с созданием обобщенной математической модели.

Цель работы – создать расчетную модель процесса шлифования, позволяющую учитывать комплексное влияние основных параметров процесса во взаимодействии между собой.

Для этого предлагается применить системный подход с возможностью разделения всего процесса на составляющие, с последующим моделированием и составляющих и процесса в целом.

Все входные факторы, оказывающие более или менее существенное влияние на процесс шлифования, в зависимости от характера воздействия на этот процесс можно классифицировать следующим образом [2, 3]:

- управляемые и контролируемые (основные факторы: скорость обработки и угол скоса);
- неуправляемые, но контролируемые (основные факторы: размеры детали, форма поверхности, ...);

– случайные (основные факторы: шероховатость и температура поверхности, стойкость инструмента).

К основным выходным факторам относят толщину снятого слоя, процент качественной продукции, производительность обработки, себестоимость процесса и т.д.

Для построения рациональной математической модели процесса шлифования, отображающей процесс во времени, необходимо учесть влияние всех выше перечисленных параметров на основе сочетания теоретических и экспериментальных исследований. Для демонстрации предлагаемого подхода ограничимся всего несколькими важными факторами: в качестве входных управляемых переменных выберем скорость обработки  $V$  и угол скоса  $\varphi$ , а в качестве выходной переменной – процент качественной продукции  $p$ , соответствующей ГОСТ.

Для современных шлифовальных станков за истинную скорость резания принимают скорость движения шлифовального инструмента. Очевиден принцип управления скоростью обработки в зависимости от качества продукции: мы можем увеличивать скорость ( $V'=V+\Delta V$ ) для увеличения производительности процесса до тех пор, пока это не начинает приводить к ухудшению качества обработки. В этом случае скорость приходится снижать ( $V'=V-\Delta V$ ).

Угол скоса определяется главным образом ориентацией обрабатываемого изделия в зоне резания относительно направления подачи [4]. Увеличение угла скоса способствует повышению производительности процесса, однако при этом качество обработки ухудшается из-за образования ворса и рисков на обработанной поверхности. При чистовом шлифовании угол скоса не должен превышать  $15^\circ$  [5]. Если угол больше  $15^\circ$ , то это способствует повышению производительности процесса, однако при этом качество обработки может ухудшаться за счет образования ворса и рисков на обработанной поверхности. Таким образом, принцип управления углом скоса аналогичен скорости обработки – его можно увеличивать ( $\varphi'=\varphi+\Delta\varphi$ ) до тех пор, пока это не начинает приводить к ухудшению качества обработки. В этом случае угол скоса приходится уменьшать ( $\varphi'=\varphi-\Delta\varphi$ ).

Следовательно, общая цель управления процессом шлифования в предлагаемой постановке заключается в поддержании качества продукции на некотором допустимом уровне за счет подстройки во времени скорости обработки и угла скоса. Очевидно, что если процент брака превышает допустимый даже при минимальных значениях скорости обработки и угла скоса, то необходимо процесс останавливать и пересматривать остальные влияющие факторы.

Структурная схема системы управления приведена на рис. 1. Объектом управления здесь является шлифовальный станок.

В настоящее время у специалистов в области производственных систем наблюдается повышенный интерес к алгоритмам управления, в основе которых лежит нечеткая логика. Понятие нечеткого множества – это попытка формализации лингвистической информации для построения математических моделей. В основе этого понятия лежит представление о том, что составляющие данное множество элементы, обладающие общим свойством, могут обладать им в

различной степени и, следовательно, принадлежать к этому множеству с различной степенью. При таком подходе высказывания типа «такой-то элемент принадлежит данному множеству» теряют смысл, поскольку необходимо указать, насколько сильно или с какой степенью элемент удовлетворяет свойствам множества.

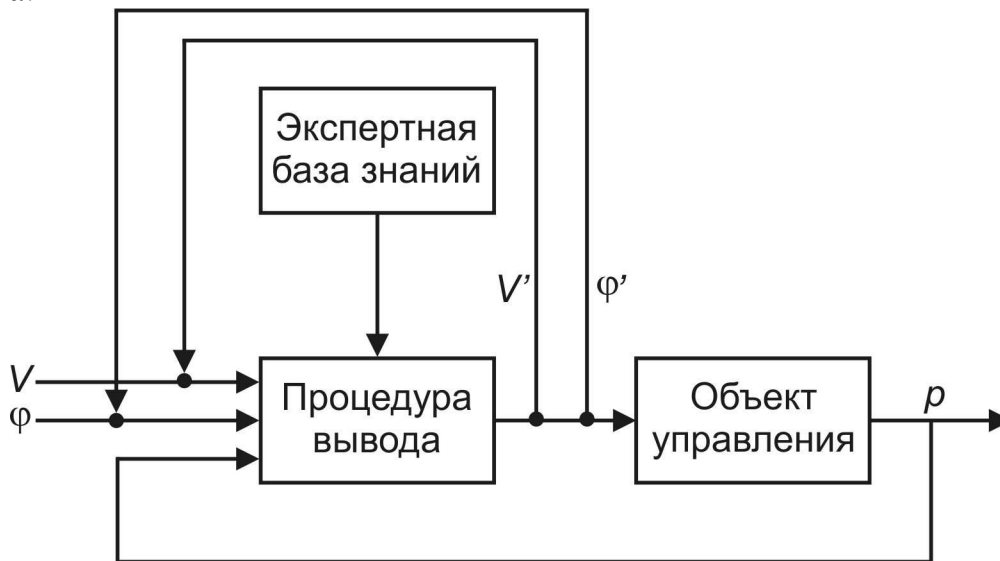


Рис. 1. Структурная схема системы управления шлифованием

Как отмечено в [6], целесообразность применения методов нечеткой логики при управлении сложными системами обусловлена следующими особенностями задачи управления:

- априорная неопределенность управляющих воздействий;
- переменность параметров объектов управления;
- сложность построения аналитических моделей систем;
- богатый опыт операторов (экспертов) в виде знаний и навыков по управлению конкретными технологическими процессами.

В данной статье предлагается применить алгоритм нечеткого вывода для построения модели управления процессом шлифования. В качестве инструментария используем систему Matlab со встроенным пакетом Fuzzy Logic Toolbox, базовым понятием которого является FIS-структура – система нечеткого вывода (Fuzzy Inference System), содержащую все необходимые данные для реализации функционального отображения «входы-выходы».

К основам нечеткой логики относят понятия «нечеткое множество» и «лингвистическая переменная».

Нечеткое множество характеризуется непрерывной функцией принадлежности, которая может принимать любые промежуточные значения между 0 и 1. Лингвистической называют переменную, которая задана на лингвистической шкале и принимает значения в виде слов и фраз естественного языка. Отдельное значение лингвистической переменной (или лингвистическое значение, терм) задается с помощью одной функции принадлежности, т.е. каждому терму соответствует нечеткое множество.

В соответствии с приведенным выше описанием модели имеем три входные лингвистические переменные: «Скорость обработки» (Speed, м/с), «Угол скоса» (Angle, градусы), «Процент брака» (Defects, %) и три выходные

лингвистические переменные: «Изменение скорости обработки» (SpeedChange, м/с), «Изменение угла скоса» (AngleChange, градусы), «Останов» (Stop) – рис. 2.

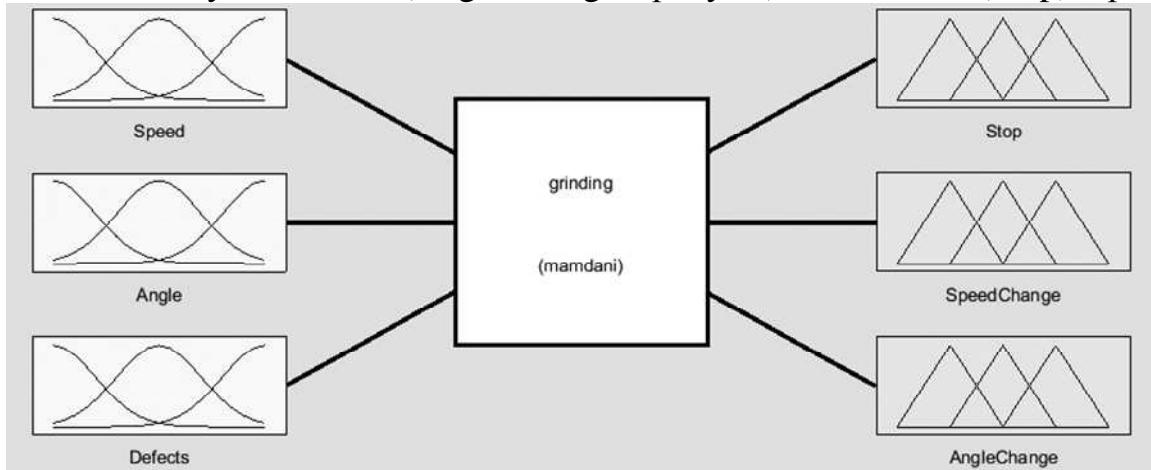


Рис. 2. Модель процесса шлифования на основе нечеткой логики

Построенные в Matlab функции принадлежности термов входных и выходных переменных приведены на рис. 3-8.

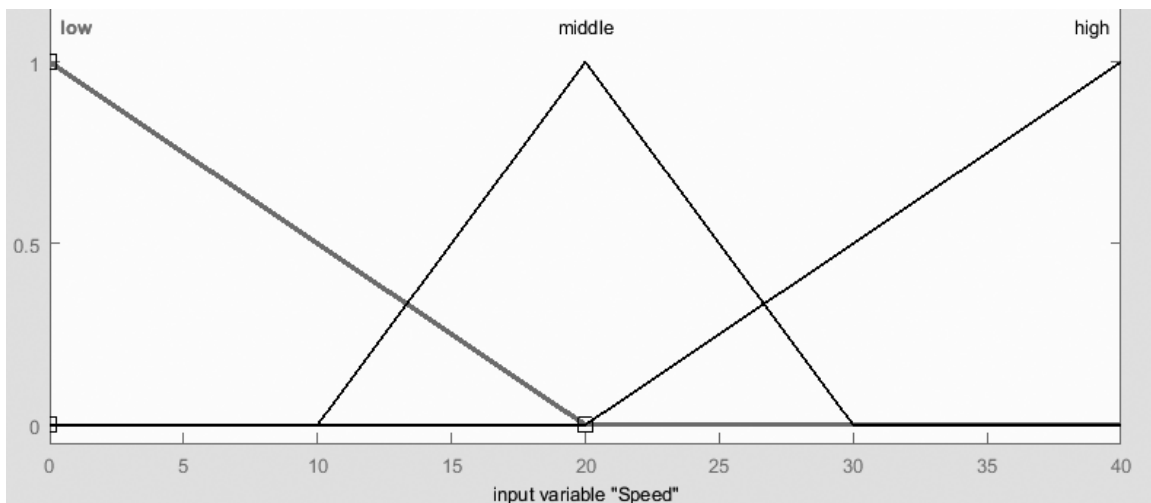


Рис. 3. Функции принадлежности входной переменной «Скорость обработки»

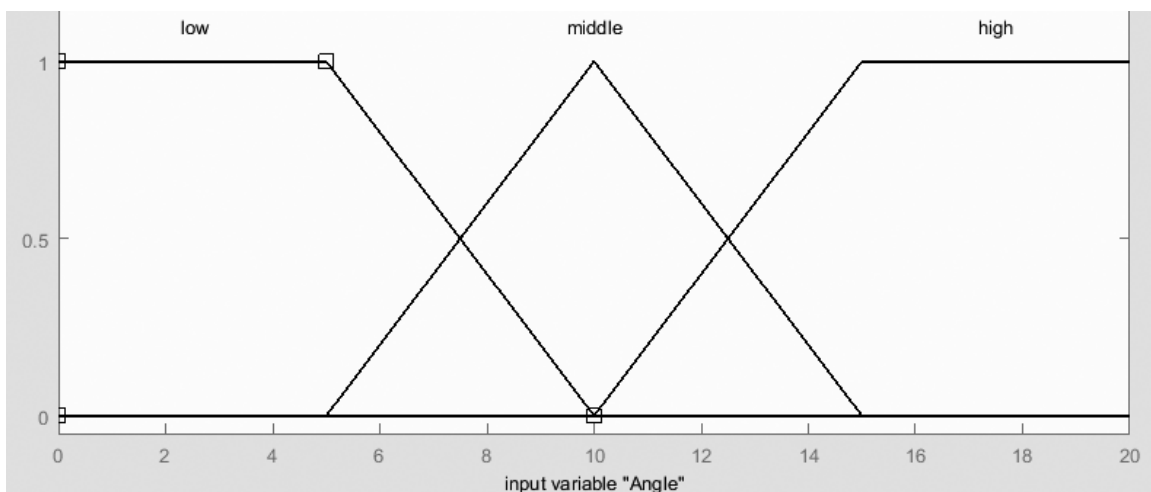


Рис. 4. Функции принадлежности входной переменной «Угол скоса»

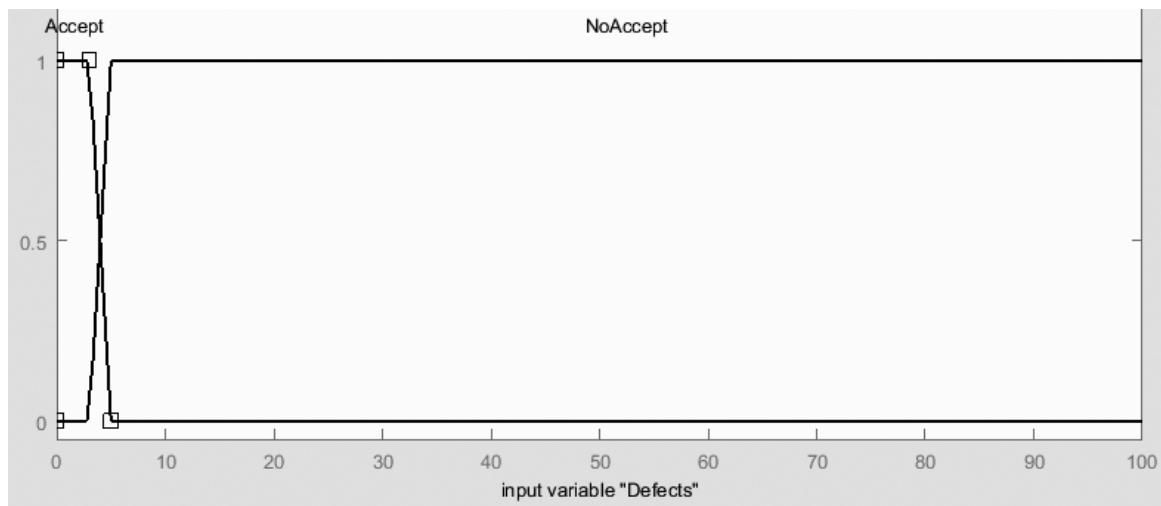


Рис. 5. Функции принадлежности входной переменной «Процент брака»

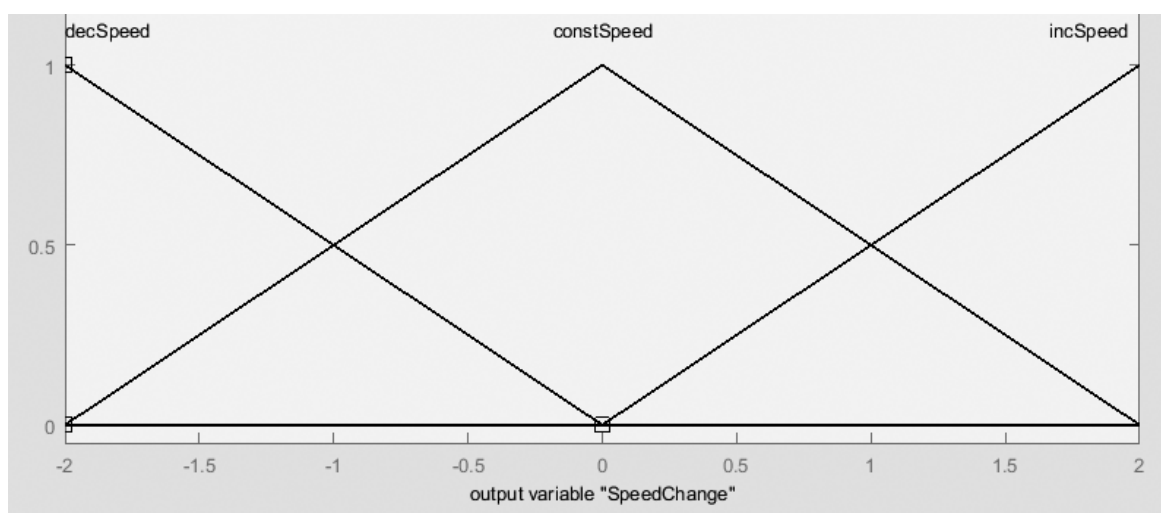


Рис. 6. Функции принадлежности выходной переменной «Изменение скорости обработки»

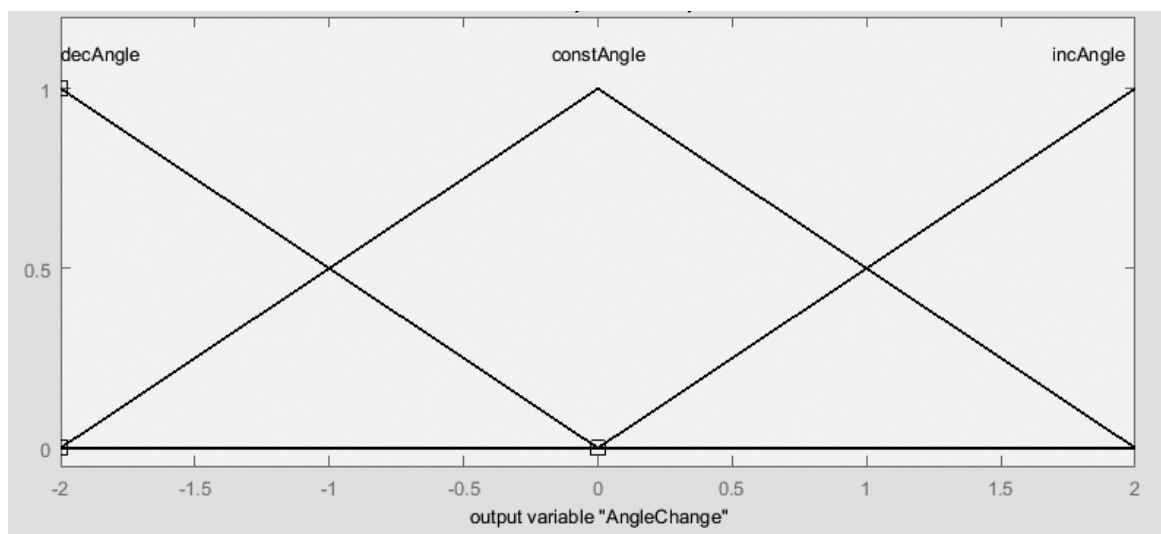


Рис. 7. Функции принадлежности выходной переменной «Изменение угла скоса»

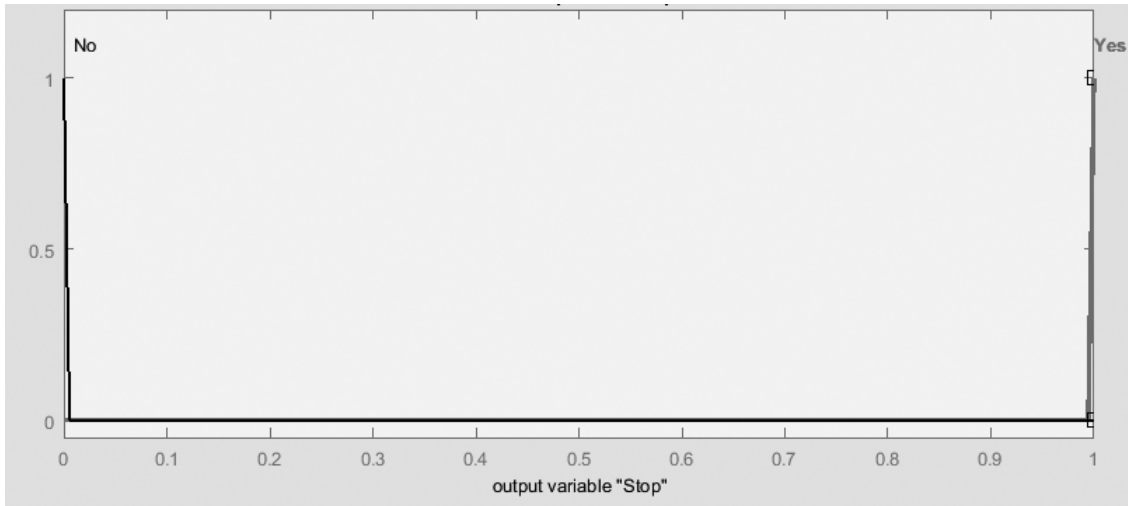


Рис. 8. Функции принадлежности выходной переменной «Останов»

Основой для проведения операции нечеткого логического вывода является база правил, содержащая нечеткие высказывания в форме «Если – То» и функции принадлежности для соответствующих лингвистических термов.

На основании предложенного алгоритма управления и построенных функций принадлежности, базу правил можно составлять следующим образом:

ЕСЛИ (Скорость обработки низкая) И (Угол скоса малый) И (Процент брака недопустимый)

ТО (Изменение скорости обработки не менять) И (Изменение угла скоса не менять) И (Останов Да);

ЕСЛИ (Скорость обработки низкая) И (Угол скоса малый) И (Процент брака допустимый)

ТО (Изменение скорости обработки увеличить) И (Изменение угла скоса не менять) И (Останов Нет);

...

Полная база правил приведена на рис. 9.

1. If (Speed is low) and (Angle is low) and (Defects is Accept) then (Stop is No)(SpeedChange is incSpeed)(AngleChange is constAngle) (1)
2. If (Speed is low) and (Angle is low) and (Defects is NoAccept) then (Stop is Yes)(SpeedChange is constSpeed)(AngleChange is constAngle) (1)
3. If (Speed is low) and (Angle is middle) and (Defects is Accept) then (Stop is No)(SpeedChange is incSpeed)(AngleChange is constAngle) (1)
4. If (Speed is low) and (Angle is middle) and (Defects is NoAccept) then (Stop is No)(SpeedChange is constSpeed)(AngleChange is decAngle) (1)
5. If (Speed is low) and (Angle is high) and (Defects is Accept) then (Stop is No)(SpeedChange is incSpeed)(AngleChange is constAngle) (1)
6. If (Speed is low) and (Angle is high) and (Defects is NoAccept) then (Stop is No)(SpeedChange is constSpeed)(AngleChange is decAngle) (1)
7. If (Speed is middle) and (Angle is low) and (Defects is Accept) then (Stop is No)(SpeedChange is constSpeed)(AngleChange is incAngle) (1)
8. If (Speed is middle) and (Angle is low) and (Defects is NoAccept) then (Stop is No)(SpeedChange is decSpeed)(AngleChange is constAngle) (1)
9. If (Speed is middle) and (Angle is middle) and (Defects is Accept) then (Stop is No)(SpeedChange is incSpeed)(AngleChange is constAngle) (1)
10. If (Speed is middle) and (Angle is middle) and (Defects is NoAccept) then (Stop is No)(SpeedChange is decSpeed)(AngleChange is constAngle) (1)
11. If (Speed is middle) and (Angle is high) and (Defects is Accept) then (Stop is No)(SpeedChange is incSpeed)(AngleChange is constAngle) (1)
12. If (Speed is middle) and (Angle is high) and (Defects is NoAccept) then (Stop is No)(SpeedChange is constSpeed)(AngleChange is decAngle) (1)
13. If (Speed is high) and (Angle is low) and (Defects is Accept) then (Stop is No)(SpeedChange is constSpeed)(AngleChange is incAngle) (1)
14. If (Speed is high) and (Angle is low) and (Defects is NoAccept) then (Stop is No)(SpeedChange is decSpeed)(AngleChange is constAngle) (1)
15. If (Speed is high) and (Angle is middle) and (Defects is Accept) then (Stop is No)(SpeedChange is constSpeed)(AngleChange is incAngle) (1)
16. If (Speed is high) and (Angle is middle) and (Defects is NoAccept) then (Stop is No)(SpeedChange is decSpeed)(AngleChange is constAngle) (1)
17. If (Speed is high) and (Angle is high) and (Defects is Accept) then (Stop is No)(SpeedChange is constSpeed)(AngleChange is constAngle) (1)
18. If (Speed is high) and (Angle is high) and (Defects is NoAccept) then (Stop is No)(SpeedChange is decSpeed)(AngleChange is constAngle) (1)

Рис. 9. База правил

Средствами FIS Editor построим пример поверхности «вход-выход», соответствующей синтезируемой нечеткой системе (рис. 10).



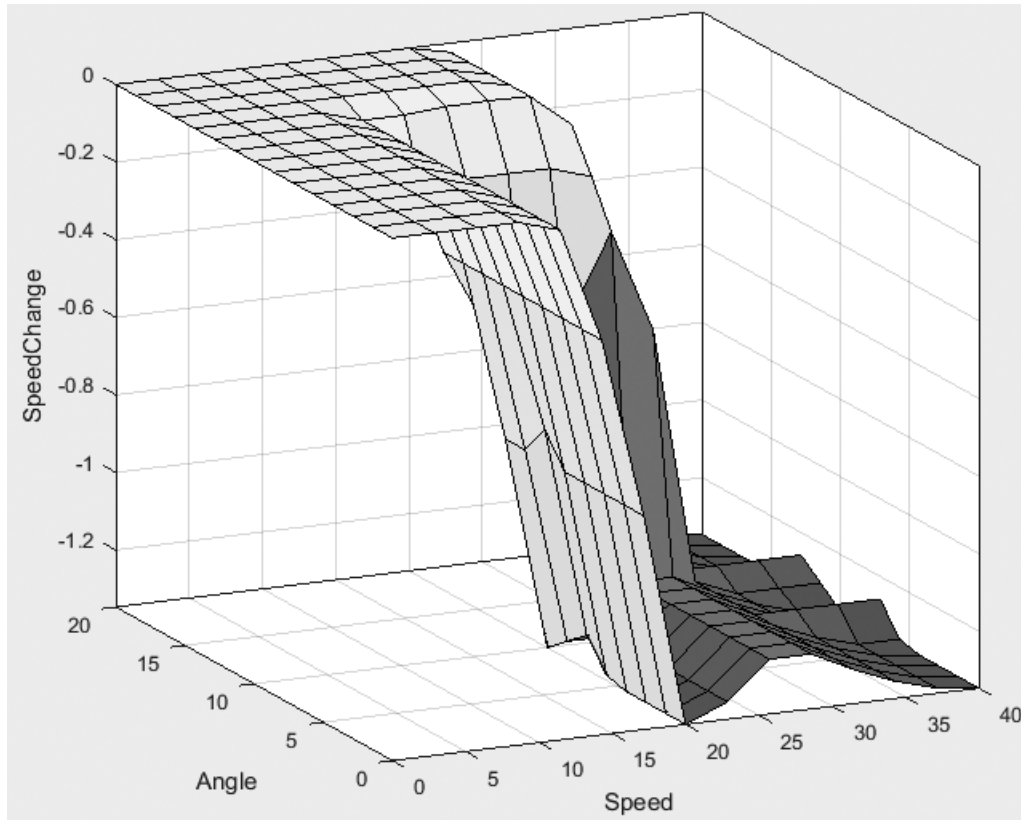


Рис. 10. Зависимость выходной переменной «Изменение скорости обработки» от входных переменных «Скорость обработки» и «Угол скоса»

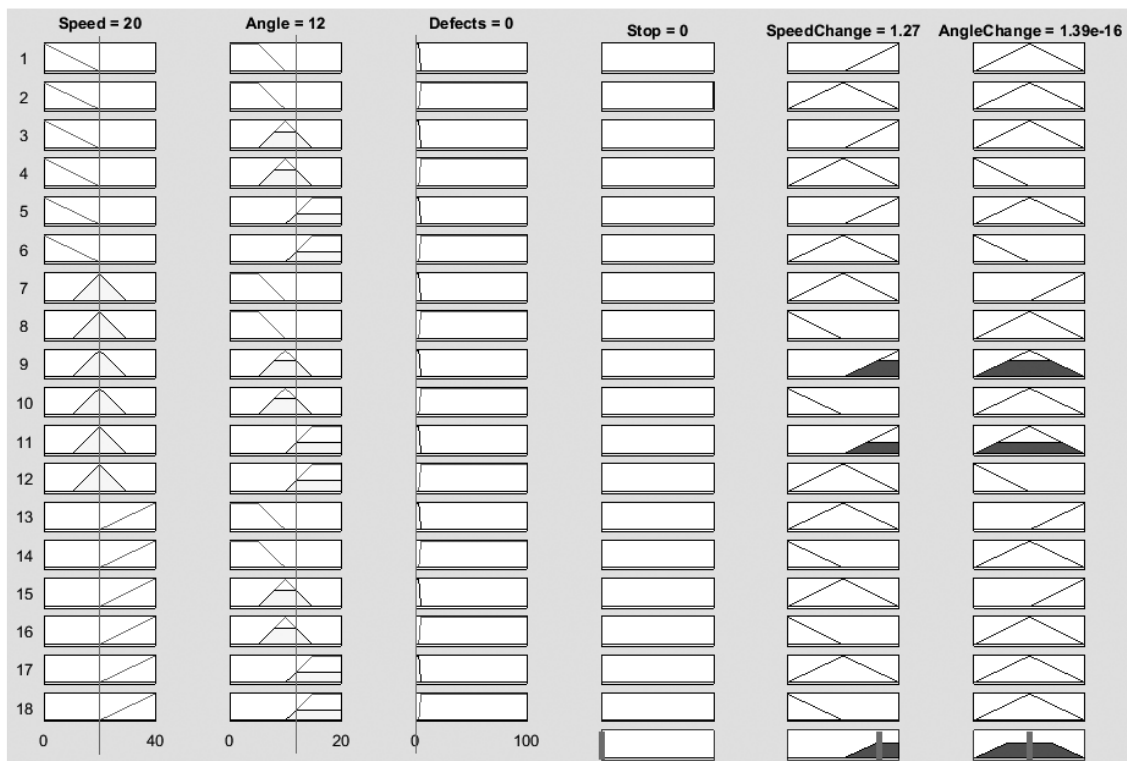


Рис. 11. Тестирование построенной модели

Тестирование построенной модели заключается в задании значений входных переменных в окне Rule Viewer (рис. 11). При этом искомый итог рассчитывается программой посредством дефаззификации. Из рис. 11 видно, что при скорости обработки 20 м/с, угле скоса 12о и отсутствии дефектов следует

продолжать процесс, увеличивая скорость подачи примерно на 1 м/с и не меняя угол скоса. Полученные на модели результаты соответствуют практике.

**Заключение.** Таким образом, в данной статье предлагается подход к систематизации факторов, влияющих на процесс шлифования, с последующей разработкой модели управления на базе нечеткой логики. Модель построена и протестирована для двух основных факторов: скорости обработки и угла скоса. Дальнейшие исследования должны быть направлены на увеличение количества учитываемых факторов, сбор статистической и экспертной информации для построения функций принадлежности лингвистических переменных и формирования базы правил, связывающих входные и выходные переменные.

#### Список литературы

1. Илларионова А.С., Слепченко Е.В. Выбор геометрической формы абразивных зерен при компьютерном моделировании процесса шлифования // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-1. С. 99-100.
2. Костюк О.И., Фридрих А.П. Влияние пород древесины на мощность резания при шлифовании // Труды Белорусского государственного технологического университета. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2013. №2. С. 167-170.
3. Зубык С.В., Кийко О.А. К вопросу об определении составляющих модели процесса шлифования массивной древесины [Электронный ресурс] // УкрДЛТУ, 2004. URL: [http://www.science-bsea.narod.ru/2001/les\\_2001/zubyk.htm](http://www.science-bsea.narod.ru/2001/les_2001/zubyk.htm) (дата обращения: 22.10.2017).
4. Пижурин А.А. Основы научных исследований в деревообработке. М.: МГУЛ, 2005. 305 с.
5. Каменев Б.Б., Сергеевичев А.В. Дереворежущие инструменты: учебное пособие. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. 332 с.
6. Шеховцов О.И., Шифрин Б.М. Разработка модели управления варочной установкой на основе нечеткой логики. СПб: Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2008, вып. 1, с. 8-14.

#### Сведения об авторе:

*Шифрин Борис Маркович* – к.т.н., доцент, доцент кафедры управления, автоматизации и системного анализа СПбГЛТУ.

---

УДК 621.9

## УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВЫХ ПРОИЗВОДСТВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Кабалдин Ю.Г., Шатагин Д.А., Кузьмишина А.М.*

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,  
г. Нижний Новгород*

**Ключевые слова:** цифровое производство, системы ЧПУ, открытая архитектура, встроенные модули нейропроцессоров, модуль связи, интеллектуальное управление оборудованием.

**Аннотация.** Предложена единая базовая управляющая платформа, на основе которой необходимо разрабатывать как новое поколение систем управления технологическим оборудованием, так и совершенствовать существующие системы ЧПУ для цифровых производств. Такой платформой может выступать открытые системы ЧПУ станков с большими вычислительными ресурсами и высоким быстродействием обработки большой базы данных,